



Aalborg Universitet

**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

## Jords opførsel ved svingende belastning

Jacobsen, Moust

*Published in:*  
FTU-Seminar

*Publication date:*  
1986

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Jacobsen, M. (1986). Jords opførsel ved svingende belastning. I *FTU-Seminar: 27.-28. august, 1986*

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Projekttitel: JORDS OPFØRSEL VED SVINGENDE BELASTNING

FTU-delprogram: Konstruktionsteknik

[48]

Session: 8b - Konstruktionsforskning

Projektansvarlig person: lektor, lic.techn. Moust Jacobsen

Institut: Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik,  
Aalborg Universitetscenter  
Sohngaardsholmsvej 57, 9000 Aalborg

Foredragsholder: Moust Jacobsen

---

#### Begrundelse for projektet:

Traditionelt har geoteknikere beskæftiget sig med jords styrke- og deformationsforhold under statiske påvirkninger, fordi de indtil for få år siden var aldeles dominerende i forhold til de svingende belastninger.

Men i 1964 opdagede man i forbindelse med et jordskælv i Niagata i Japan at visse finkornede jordarter var meget følsomme over for rystelser, og at de kunne blive flydende, og altså miste deres bæreevne. Herefter begyndte man i jordskælvsplagede egne at efterforske dette fænomen nøjere.

Knap 10 år senere begyndte udviklingen inden for olieindvinding til søs at tage fart, idet man forlod de beskyttede havbugter og søer og rykkede ud i havet selv om klimaet her var langt hårdere. Nordsøen var et af disse områder med meget store bølgehøjder, store vanddybder og deraf følgende store svingende belastninger på havbunden. I Norge opdagede man, at de øverste jordarter var de samme som i Niagata, Japan.

Hermed blev de også vort problem, og dermed vakttes også interesse herfor ved Aalborg Universitetscenter.

Forskningsresultaterne vil altså primært sigte mod offshoresektoren, men da mange danske ingeniører også arbejder i egne med jordskælv, er det også en oplagt anvendelsesmulighed. Formentlig vil det vise sig at en række "dagligdags" geotekniske fænomener også kan forklares.

#### Poretryksopbygning:

Problemstillingen indses lettest ved at betragte en vandmættet finsand. Det består af et antal sandkorn, der via en række kon-

taktpunkter kan overføre forskydningsspændinger og normalspændinger. Sandkornenes hulrum er fyldt med vand, der kun kan overføre normalspændinger. Såfremt belastningen svinger hurtigt nok, kan vandet ikke nå at bortdræne og sandmassen kan med god tilnærmelse antages at have konstant volumen.

Ved svingende belastninger vil sandkornene have en tilbøjelighed til at rotere, hvorved de opnår en bedre tilpasning til det hulrum, der er til rådighed. Samtidig nedsættes antallet af kontaktpunkter, og dermed sandets evne til at overføre forskydningsspændinger. Der kan derfor opstå brudtilstande i sandet for de maksimale belastninger og dermed store deformationer. Fortsætter svingningerne, vil kontaktpunkternes antal yderligere formindskes, og jordarten vil blive flydende.

Fænomenet finder også sted i nogen udstrækning selv om jorden ikke er helt vandmættet, formentlig så længe mætningsgraden er over 70-80%.

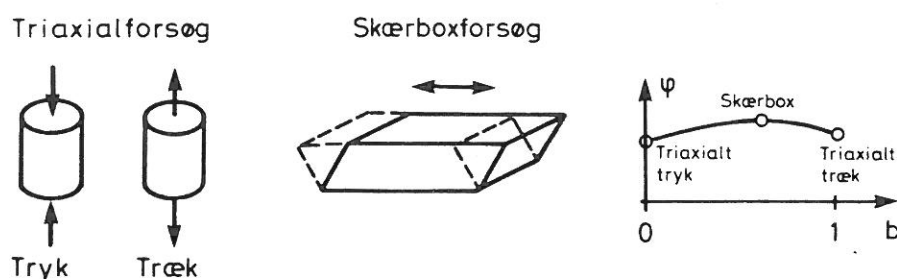
### Laboratoriemålinger:

I laboratoriet udføres forsøg på mindre jordprøver, der enten er optaget i marken og stadig er intakte, eller for sand på indbyggede prøver. Der anvendes almindeligvis to forskellige målemetoder.

Den almindeligste er triaxialforsøget, hvor en cylindrisk jordprøve kan belastes isotropt med et statisk hydraulisk tryk og med vekslende belastning (stempeltryk) i prøvens akse retning. Problemet i dette forsøg er, at materialets friktionsvinkel afhænger af, om stempeltrykket er negativt eller positivt.

En anden forsøgstype er skærboksforsøget, hvor der påføres en ydre forskydningskraft. Tilstanden er plan, og friktionsvinklen er lidt anderledes end i triaxialforsøget.

Normalt råder et laboratorium kun over det ene udstyr, og der hersker derfor nogen uenighed om tolkning af forsøgene. Ved AUC har man imidlertid begge udstyr og en sammenligning kan foretages.



Figur A. Friktionsvinklens variation med forsøgstype.

### Teoretisk beskrivelse:

Jord er et friktionsmateriale, hvor det udelukkende er kontaktpunkterne, der overfører forskydning. Gennemsnitskontaktrykket kaldes  $\sigma'$ , gennemsnitsforskydningsspændingen  $\tau$ .

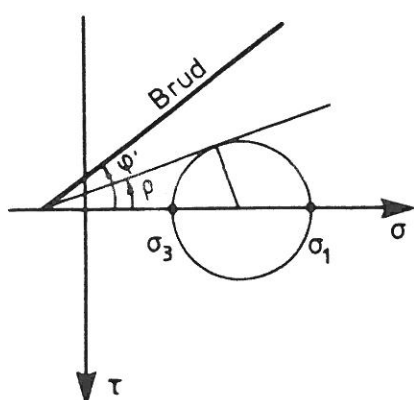
Coulombs brudbetingelse lyder da

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Problemet gøres imidlertid uafhængig af jordens styrke ( $c'$  og  $\phi'$ ) ved at indføre mobiliseringsgraden  $M$  defineret ved

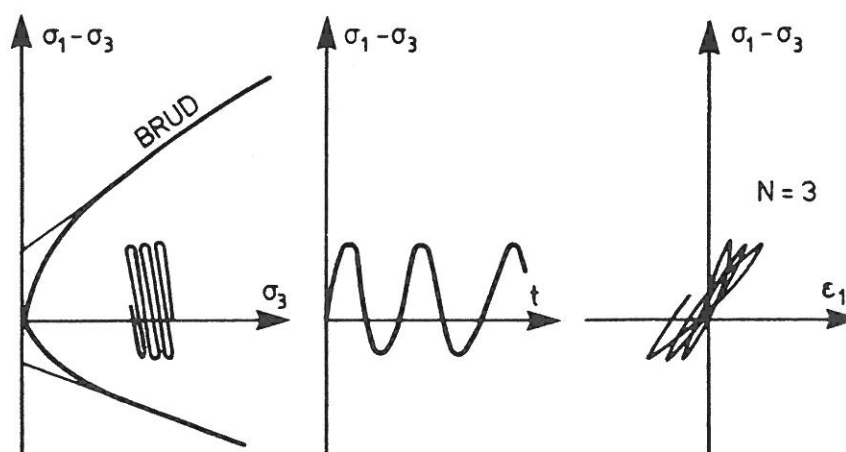
$$M = \frac{\tan \rho}{\tan \phi'}$$

hvor  $M$  ligger mellem 0 og 1.



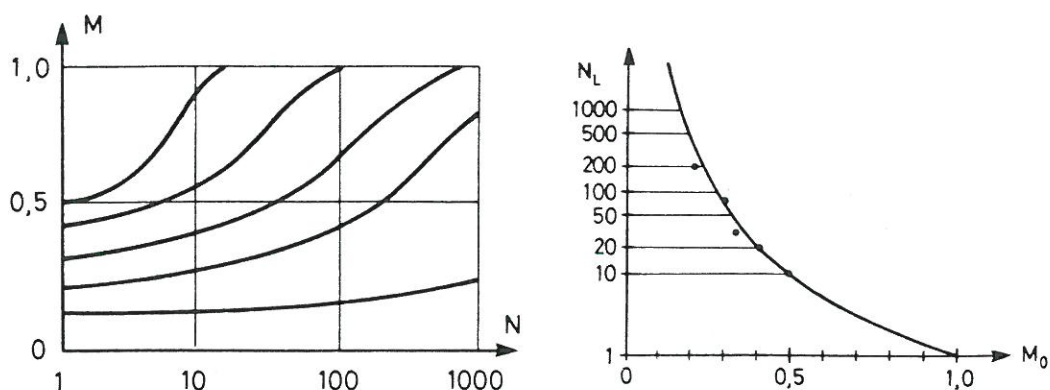
Figur B. Definition af mobiliseringsgrad.

Tegnes et diagram over spændingsvariationen i et triaxialforsøg med kammertrykket  $\sigma_3'$  som abscisse og stempeltrykket  $\sigma_1 - \sigma_3$  som ordinat, angiver Coulombs brudbetingelse grænserne for spændingsvariationerne. En vekslende belastning, der svinger harmonisk omkring en middelværdi af  $(\sigma_1 - \sigma_3)$ , medens kammertrykket holdes konstant, vil få normaltrykket mellem kornene til at aftage samtidig med at vandtrykket u vokser. Til sidst indtræder brud. Samtidig bliver prøvens deformationer større og større.



Figur C. Cykliske triaxialforsøg med skiftevis "tryk" og "træk".

Forsøgene kan gøres dimensionsløse ved at indføre mobiliseringsgraden  $M$ . Afbildes den største mobiliseringsgrad på hver sløjfe som funktion af sløjfeantallet fås en afbildning som vist. Her repræsenterer hver kurve blot 1 forsøg. Det ses at jo mindre  $M$



Figur D. Mobiliseringsgraden som funktion af antal belastninger. Sammenhængen mellem den initiale mobiliseringsgrad  $M_0$  og antal belastninger til liquifaction. (Principielt udseende)

er til at begynde med (jo mindre den svingende belastning er) - desto længere varer det før brud ( $M = 1$ ) indtræder. Endvidere kan man afsætte den lodrette tøjning pr. sløjfe for alle forsøgene ved igen at anvende  $M$ . Man får herved en kurveskare der grupperer sig omkring en middelkurve, forhåbentlig uden alt for stor spredning.

#### Projektets opgaver:

Der er en række spørgsmål, der skal afklares og som der ikke er international enighed om, fx:

1. Kan man benytte ovenstående afbildningsform, altså gøre problemet dimensionsløst ved at indføre  $M$ .
2. Hvordan indgår gennemsnitsmobiliseringsgraden fra hver sløjfe.
3. Hvordan sammenligner man triaxialforsøg og skærboksforsøg.

Forsøgsmaterialets omfang er meget stort. Spørgsmålene vedrører de fænomener, man har observeret i årevis ved sinusformede belastninger.



Endvidere ønskes udforsket og besvaret en række problemstillinger, som der endnu ikke eller kun sporadisk er givet svar på.

4. Hvordan kan man udnytte ovennævnte forsøgsresultater til en egentlig beregning af virkningen af en serie stokastiske belastninger ("et stormvejr").

Der findes en metode udarbejdet i Norge. Den ønskes kontrolleret ved at udføre forsøg med varierende amplituder.

5. Kan man ved at gennemføre stokastiske belastningsprocedurer i laboratoriet opnå en større forståelse og dermed et bedre beregningsgrundlag.

Vi har ved AUC opbygget et apparatur der kan påføre stokastisk varierende belastninger. Vi mener, at det endnu er enestående. Endvidere har vi muligheden for gennem den projektrelaterede undervisning at samarbejde med de øvrige grupper, som beskæftiger sig med stokastisk varierende belastninger, hvorved vi har en realistisk mulighed for at komme forskningsmæssigt i front, også internationalt set.

#### Projektets\_nuværende\_stade:

Vi har afsluttet opbygning af det dynamiske triaxialapparat. Den dynamiske skærbox er færdigudviklet, men det ydre udstyr er endnu ikke tilsluttet eller forsøgsprocedurer afprøvet. Foreløbig udføres en række forsøg med sinusformede belastningsvariationer for at afklare de førnævnte to første spørgsmål. Forsøgsserien er endnu ikke afsluttet og det er ikke muligt at vise forsøgsresultater i større omfang endnu.

Imidlertid anses det ikke for nogen forsøgsmæssig vanskelighed at gennemføre forsøg med andre belastningsvariationer end de sinusformede. Det er alene et spørgsmål om at anvende andre båndoptagelser, idet det er signalerne herfra der via elektronik og servostyringer overfører belastningsændringer til jordprøverne.